空心莲子草叶甲室内大量繁殖研究

刘雨芳[1]，刘文海[1]，万方浩[2]

(1. 湖南科技大学生命科学学院，湖南湘潭 411201；
2. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100094)

摘要：为了大量繁殖供环境释放的空心莲子草叶甲 *Agasicles hygrophila* 以实现空心莲子草区域减灾，我们探索出室内大量饲养与繁殖空心莲子草叶甲的方法与流程，包括用叶片法或苗水培法孵化卵粒、用盒养法饲养各龄幼虫与成虫并供成虫产卵、用栽培活苗笼养法化蛹羽化。在室内成虫终日均能取食、交配、产卵，产卵前期约 4 ~ 5 d，产卵高峰期在羽化后第 7 ~ 24 天，每雌平均产卵 21.08 块，约 570 粒。盒养法叶片平均可着卵 4.28 块，叶背与叶面着卵量相近；笼养法叶片平均着卵为 1.46 块，卵主要产于叶背。盒养法与笼养法得到的卵孵化率分别为 94.02% 与 92.50%。空心莲子草叶甲除化蛹需在栽培活苗上完成外，各龄幼虫与成虫均可用离体新鲜苗盒养法密集饲养。初孵 1 龄幼虫转株(叶)期、3 龄老熟幼虫转化蛹苗期是室内大量饲养与繁殖空心莲子草叶甲的关键时期，高密度成功饲养与繁殖空心莲子草叶甲的最适化蛹接虫量是每株 8 头，产卵期雌虫的最适密度是每株 5 头。

关键词：空心莲子草；空心莲子草叶甲；生物学；大量饲养与繁殖；区域减灾

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2009)08-0867-08

Massive rearing of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae), in the laboratory

LIU Yu-Fang[1], LIU Wen-Hai[1], WAN Fang-Hao[2] (1. College of Life Sciences, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to achieve the massive rearing and release of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila*, for controlling the damage of alligator weed, *Alternanthera philoxeroides*, we explored and established the method and work flow of massively rearing *A. hygrophila* in the laboratory. Our method and work flow involve the combination of the following steps in sequential order: hatching eggs by putting the leaves with eggs into rearing dish or the seedlings with eggs into jars containing water; rearing the 1st, 2nd, 3rd instar larvae and the adults of *A. hygrophila*, and having the adults lay eggs by putting the plants of *A. philoxeroides* into rearing box; helping *A. hygrophila* to complete the pupation and eclosion process by using live stems planted in a bucket filled with a layer of thin wet soil. The adults of *A. hygrophila* were able to feed, copulate and lay eggs around the clock. The prophase of egg-laying was about 4 – 5 d and the peak phase of egg-laying was from the 7th to 24th day after eclosion. The average egg mass and egg number per female was 21.08 and about 570 in total in rearing box, respectively. The average egg mass on one leaf of alligator weed was 4.28 with the approximately same number on the back of leaf when reared in rearing box. The average egg mass on one leaf of *A. philoxeroides* was 1.46 and the eggs were mainly laid on the back of leaf when reared in cage. The ratios of *A. hygrophila* hatched eggs obtained from rearing box and cage were 94.02% and 92.50%, respectively. The 1st, 2nd, 3rd instar larva and the adult could be reared in high density using fresh broken seedlings of *A. philoxeroides* in rearing box. However, the pupation could only be completed smoothly using live stem planted in wet soil. We found that the periods from early 1st instar larva transferring to fresh plants (or leaves) and from fully developed 3rd instar larva in transition to pupation were both the critical phases for successful high-density rearing. The optimal density

---

基金项目："973"计划项目(2009CB119200)；国家科技部支撑计划项目(2006BAD08A18)；国家自然科学基金项目(30871638)；湖南省自然科学基金项目(08JJ3085)；湖南省科技厅项目(2007FJ4197)；湖南科技大学科技创新团队项目(109-380815)

作者简介：刘雨芳，女，1964 年生，博士，教授，主要从事生态学、入侵生物学与生物安全评价研究，E-mail：yurainliu@yahoo.com.cn

收稿日期 Received：2009-02-04；接受日期 Accepted：2009-06-09

of fully developed 3rd instar larvae in transition to pupation was 8 individuals per plant, while the optimal density of egg-laying females was 5 individuals per plant.

Key words: *Alternanthera philoxeroides*; *Agasicles hygrophila*; biology; massive rearing and reproduction; decreasing district disaster

空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 是苋科(Amaranthaceae)莲子草属 *Alternanthera* 的多年生草本植物，起源于南美洲巴拉圭南部和阿根廷东北部的里奥拉普拉塔盆地、巴拉圭和巴拉那河的湿地(Sainty *et al*., 1998)，现分布于南美洲、北美洲、大洋洲、亚洲、欧洲南部和非洲东西部等国家和地区(Michael *et al*., 1995; Sainty *et al*., 1998)，是全球性严重的恶性杂草(Cabrera *et al*., 2005)。自 20 世纪 30 年代传入我国后，迅速扩散成为我国南方各省难除的农田恶性杂草(王韧等, 1988)。

空心莲子草叶甲 *Agasicles hygrophila* 又名莲草直胸跳甲，是空心莲子草的专性天敌(王韧等, 1988; 吴珍泉等, 1994b; 李君和郑发科, 2007)，其成虫和幼虫取食空心莲子草叶片与嫩芽，幼虫还啃食茎秆，3 龄老熟幼虫蛀孔钻入茎秆内化蛹(吴珍泉等, 1994b; 马瑞燕, 2001; 李君和郑发科, 2007)，高密度的叶甲种群能有效地控制空心莲子草的蔓延与危害。20 世纪 60 年代，美国利用它防治空心莲子草取得成功(Michael *et al*., 1995)。1986 年，中国农业科学院生物防治研究所从美国佛罗里达引入空心莲子草叶甲，先后在北京、重庆和湖南进行生物学、食性及繁殖除草试验获得成功，在长沙释放的当年就能控制释放区的空心莲子草(李宏科等, 2000)。在广州地区空心莲子草叶甲能长期控制空心莲子草的危害(吴浪明等, 2000)。但空心莲子草叶甲在 10℃低温下暴露 4 周，成虫死亡率高达 92%，在冬季长期低于 15℃低温下空心莲子草叶甲的越冬种群数量很低(Stewart *et al*., 1999)。高于 28℃条件下卵的孵化率迅速下降，30℃时仅有 51% 的卵化率，在 32℃以上的高温下卵干瘪，发育停止，孵化率为零(吴珍泉, 1997)。在湖南释放空心莲子草叶甲已 20 多年，该叶甲虽在田间建立了自然种群，但因冬季温度低于 10℃的低温时间与夏季温度高于 32℃的高温时间较长，空心莲子叶甲种群数量很低，特别是在早春与夏季高温后其种群发生明显滞后于空心莲子草的生长，制约了叶甲对草的控防效果，使该草的危害日趋严重。洞庭湖区的河道、沟渠、路边、水塘、湿地、水田和旱地等生境，其发生频率为 100%(周国庆等, 2007)。如果通过室内大量饲养并在田间释放，可提高叶甲田间种群密度从而提高其控草效果。吴珍泉(1994)用割野生空心莲子草钵头水培法开展了室内大量饲养叶甲的研究，但存在水培植株叶片易枯黄、茎秆易腐烂、经叶甲啃食后的活植株易折断、叶片易脱落、叶甲转移困难、难以顺利完成化蛹等问题。水培法的植株发生叶绿素、粗蛋白、氨基态氮、维生素 C 等物质的流失(吴珍泉, 1994)，经连代饲养引起产卵量降低、雌性比下降等问题。

我们利用新鲜苗保湿的盒养法饲养幼虫与成虫并供成虫产卵、叶片法或水培植株法孵化卵粒、结合湿土培殖笼养法化蛹的方法，开展了空心莲子草叶甲室内饲养与繁殖技术的系统研究，探索出一套较省时省工、所需空间小、效果较好、能连代饲养的室内高密度饲养繁殖空心莲子草叶甲的方法与流程。较好地解决了用离体植株水培饲养的植株易枯萎发黄、落叶、腐烂与因营养物质流失而造成的连代培养产卵量低与雌性比下降的问题。结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 空心莲子草叶甲室内大量饲养方法

1.1.1 笼养法：在口径 20 cm、高 25 cm 的塑料桶中放入 5 ~ 8 cm 厚、经过破碎与曝晒过的稻田土壤，加水搅拌混匀，并保持土壤表面有约 1 cm 的薄层水，将在田间采集的粗而嫩、生长良好的空心莲子草茎，修剪至 30 cm 高、带 7 ~ 8 轮叶子后移入桶中，每桶接入空心莲子草 20 ~ 30 枝，让其生根生长。待草转青长出白根后连桶一起放入笼高 120 cm、长与宽均为 100 cm 的养虫笼中。接入空心莲子草叶甲(虫源采自湖南科技大学校园外成片生长着空心莲子草的弃耕稻田生境)，让其自由取食与繁殖，建立实验种群，获得实验所需的卵块(或卵粒)、各龄幼虫、蛹与成虫，并根据实验需要，决定接虫的密度、虫态与换苗时间。

1.1.2 盒养法：用长 40 cm、宽 30 cm、高 12 cm 的长方形硬质塑料盒，放入直接从田间采来的长约 20 ~30 cm、有 5 ~ 8 轮叶子的新鲜空心莲子草 20 ~ 60 枝，喷水雾保持草不萎蔫。接入空心莲子草叶甲，

让其自由取食与繁殖。用双层纱布将盆口扎住防逃。根据实验需要，决定接虫密度与虫态，根据草的鲜活情况，决定换苗时间。

1.1.3　培养条件：培育空心莲子草与空心莲子草叶甲均在温度为 26 ± 1℃、湿度 60% ~80%、光照 12L: 12D 的实验室控制条件下完成。

1.2　空心莲子草叶甲幼虫与蛹的形态学及行为习性观察

将同时孵化的 1 龄幼虫或同时蜕皮的 2 龄、3 龄幼虫各 100 头，分别接入放有适量空心莲子草嫩枝的饲养盒中，每天更换嫩枝，喷水保持湿度，每 12 h 观察并记录幼虫的形状、体色、体毛与体刺变化、食性趋性、蜕皮时间与次数。在幼虫进入各个龄期约 12 h(初期)或即将进入下一个龄期的末期，随机抽取各龄幼虫 10 头，用适量乙醚轻度麻醉并使其身体舒展，用数码显微技术与图像分析系统测量其体长等形态数据。选即将化蛹的 3 龄老熟幼虫 100 头，随机分成 5 组，每组幼虫 20 头，分别接到备用的化蛹苗上，置于养虫笼内，让幼虫蛀茎化蛹。每 12 h 观察 1 次。记录幼虫蛀茎时间、成虫钻出茎秆的时间、各茎节上幼虫的蛀茎孔数量与位置。另选即将化蛹的 3 龄老熟幼虫 200 头，随机分成 20 组，每组幼虫 10 头，饲养方法同上。每 12 h 剖查 1 组，观察化蛹过程中的形态变化。

1.3　成虫室内产卵量曲线观察

选新羽化成虫 100 只，雌雄各半，随机分成 5 组，每组成虫 10 对，取高 15 cm，口径为 12 cm 的大烧杯 5 个，在杯底垫上吸水纸喷水保持湿度，适量的新鲜空心莲子草嫩枝直立于烧杯中(草的枝端用湿脱脂棉裹住保湿保鲜)，每杯中接入 10 对成虫，用双层纱布与橡皮筋扎紧杯口防逃。24 h 观察 1 次,记录始产卵时间、每日产卵量、成虫死亡数，计算每雌每日产卵量与产卵历期。每天更换空心莲子草嫩枝，清除新产卵块。

1.4　不同饲养方法与密度对空心莲子草叶甲产卵特征与产卵量的影响

羽化后 10 d 左右的产卵期雌虫 500 头、雄虫 250 头，雌虫按 50 头 1 组，雄虫按 25 头，随机各分成 10 组备用。同 1.1 方法，用盒养法(放新鲜空心莲子草 20 枝)，或笼养法(栽培空心莲子草 20 枝)接入备好的雌虫 50 头、雄虫 25 头，均让其自由产卵 2 d 后，取出植株，观察统计着卵叶片数、卵块着生位置、每叶卵块数以及每卵块的卵粒数。

分别取盒养法与笼养法获得的卵块 15 块，统计卵粒数，并置于养虫盒(长 16.5 cm，宽 12 cm，高 6.5 cm)中，观察卵孵化数量,计算其卵孵化率。

盒养法(放新鲜空心莲子草 20 枝)，笼养法(栽培空心莲子草 20 枝)，分别接入羽化后 10 d 左右的产卵期雌虫 20，50，100，200(雄虫配比为雌虫的 0.5)。让其自由取食、产卵，统计产卵量。每 24 h观察 1 次，连续观察 3 次。各密度重复 3 次。

1.5　不同孵化方法对初孵 1 龄幼虫存活率的影响

1.5.1　叶片法(LM 法)：在磁盘内铺上消毒滤纸，滴水适量浸润，将卵块连同叶片摘下，着卵面朝上紧贴于滤纸上，用保鲜膜封口，膜上扎小孔；卵孵化后加入新鲜苗叶完成转株叶或转入饲养盒。

1.5.2　苗水培法(SWM 法)：在 250 mL 烧杯中注入适量池塘水，将用盒养法得到的带卵块活苗插入烧杯中，待卵孵化后添加新鲜苗或转入饲养盒。

1.5.3　植株法(PM 法)：按 1.1.1 笼养法，待苗上有卵块后，移走成虫，将卵块连同植株留在养虫笼中孵化。

以上方法均统计卵粒数、记录孵化数、幼虫扩散后转上新鲜苗(叶)的初孵 1 龄幼虫数与 1 龄末期幼虫存活数，计算转苗(叶)虫率与 1 龄末期幼虫存活率。各重复 5 次。

1.6　不同饲养方法对 2、3 龄幼虫存活率的影响

同 1.1 方法，盒养法在盆底铺上长约 20 cm 的新鲜空心莲子草 20 枝，笼养法在养虫笼中放一桶草(20 株)，喷水雾保持草湿润。分别接入新蜕皮后的 2 龄初期幼虫 50 头，每天清掉黄枝叶，并添加新草，观察从 2 龄幼虫顺利发育至 3 龄末期的存活数，计算存活率，重复 3 次。

1.7　不同接虫密度对蛀茎、化蛹与羽化的影响

在广口瓶中插入经过培养已生根合适化蛹的长约 30 ~40 cm、带 7 ~8 轮叶子的空心莲子草苗 10 枝，移入养虫笼中，按每枝 2，4，8，10，12 头老熟幼虫的密度接入养虫笼中，使笼中老熟幼虫的密度分别达到 20，40，80，100 与 120 头的梯度，观察能成功蛀茎化蛹与羽化的数量，计算蛀茎率、羽化率与总存活率，重复 5 次。

1.8　图象处理与数据分析软件

应用 SPSS11.0 version 统计软件与 Office Excel 2003 对数据进行计算与统计，*T*-检验进行方差分析，用 DN-3 显微图象分析系统测量形态数据。

2 结果与分析

2.1 空心莲子草叶甲幼虫与蛹的形态学与行为习性观察

1 龄幼虫体长小于 1 mm，初期呈灰褐色，活动力较弱，常聚集在刚孵化的卵块周围的空心莲子草叶片上取食叶肉细胞，约 3 h 后分散。2 龄幼虫体长 2 ~ 3 mm，随着生长，体色由深灰色逐渐变成淡乳白色透明状，行动能力较强，行为活泼，啃食叶片与茎秆。3 龄幼虫体长 3 ~ 5 mm，行动能力强，行为活泼，啃食叶片与茎秆，取食量大，常将叶片食光，造成茎秆折断。据此可较准确地判别叶甲幼虫各个龄期及各龄期的发育阶段。3 龄幼虫发育到后期（老熟幼虫期），行动能力减弱，行动迟缓，取食量减少，开始在茎秆上寻找适合位置蛀茎化蛹。一般在直立茎的生长点下第 2 ~ 6 节蛀茎钻入髓腔，其中第 5 节最多，在植株生长良好的情况下几乎无幼虫在第 8 节以下的直立老茎上钻蛀。

通过对空心莲子草叶甲化蛹期的连续剥查观察，可根据蛹的形态特征与行为习性，将蛹期分为预蛹期、黄蛹期和黑蛹期 3 个时期。老熟幼虫钻入茎秆后向生长点方向上行离开化蛹孔一段距离后微蜷缩，体末端粘于茎髓腔壁，此时形态与老熟幼虫相似，为预蛹期。预蛹蜕皮 1 次进入黄蛹期。黄蛹体色橙黄，具 1 对翅芽。随着发育，头部、身体和足变黑，翅芽黑色，为黑蛹期。黑蛹蜕去蛹壳羽化为成虫。成虫在茎秆上啃食，形成羽化孔，并从羽化孔中爬出。

2.2 空心莲子草叶甲室内产卵量曲线

空心莲子草叶甲雌成虫体长约 6 mm，宽2 mm，腹末 2 节背面裸露在鞘翅外，产卵之前腹部明显膨胀。雄虫体略小于雌虫，其腹部背面被鞘翅完全覆盖，借此特征可辨别雌雄。产卵期成虫昼夜 24 h 均能交配、产卵。产卵前期约 4 ~5 d，产卵高峰期在羽化后第 7 ~24 天，每雌平均产卵 21.08 块，约 570 卵粒。空心莲子草的产卵历期与产卵量曲线见图 1。

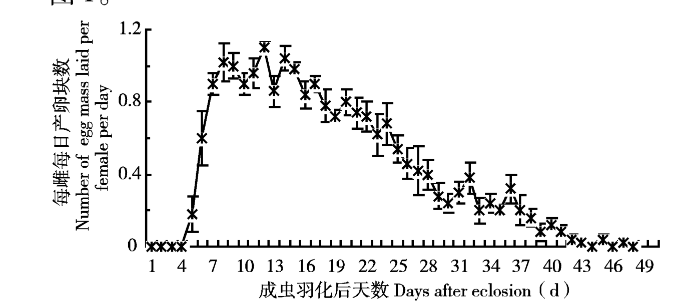


图 1 空心莲子草叶甲产卵量曲线

Fig. 1 Curve of egg mass of *Agasicles hygrophila*

2.3 不同方法饲养空心莲子草叶甲的产卵特征与卵孵化率比较

盒养法与笼养法饲养空心莲子草叶甲，其雌虫均喜在空心莲子草叶片上产卵。笼养法饲养的叶甲产卵特征与田间的相近，多产卵于叶背，卵粒排列紧密，有少数卵块排列疏松或呈散产状态。在统计的 100 个带卵叶片中，分别有 34% 与 5% 的叶片上产有 2 个或 3 个卵块，少量卵块被产在茎秆上或笼壁上。盒养法叶片的着卵块数显著高于笼养种群，且有整个叶片全被卵粒覆盖或卵块堆积的现象，产于叶背与叶面的卵块数比例相近，有少量卵块被产于茎秆与盒壁上。两种饲养法得到的卵粒（块）孵化率较高，没有明显差异（表 1）。

空心莲子草叶甲多产卵于生长点下第 2 对叶至第 5 对叶上，第 1 对叶与第 6 对叶上卵块数较少，但盒养法产卵在第 1 和 2 对叶上的比例明显高于笼养种群（图 2）。

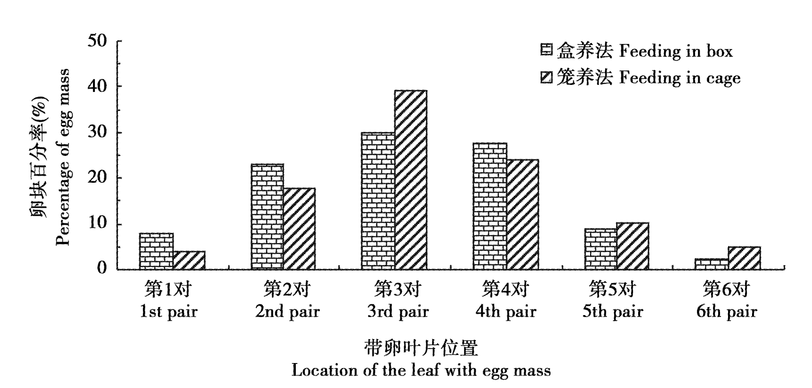


图 2 空心莲子草叶甲在 2 种室内饲养法产卵叶片位置比较

Fig. 2 Comparison of egg-masses laid on different parts of leaves by *Agasicles hygrophila* rearing in box with that in cage

带卵叶片位置是从生长点开始往下数。Location of the leaf with egg mass was numbered from growing tips of the plant.

表 1　空心莲子草叶甲在室内的产卵特征与孵化率

Table 1　The oviposition characteristics and the hatching rate of *Agasicles hygrophila* in the laboratory

参数 Parameter	笼养法 Feeding in cage	盒养法 Feeding in box
每叶卵块数 Number of egg masses per leaf	1.46 ±0.06 B (n_1 =100)	4.28 ±0.43 A (n_1 =89)
每卵块卵粒 Eggs per egg mass	26.89 ±0.59 a (n_2 =146)	25.95 ±1.82 a (n_2 =386)
孵化率(%) Percentage of egg hatch	94.02 ±1.27 a (n_3 =15; n_4 =548)	92.50 ±0.88 a (n_3 =15; n_4 =544)
叶背卵块(%) Percentage of egg mass on the back of leaf	86.67	48.21
叶面卵块(%) Percentage of egg mass on the face of leaf	10.67	50.26
茎秆上卵块(%) Percentage of egg mass on stem	0.66	1.27
在盒(笼)壁上卵块(%) Percentage of egg mass on the wall of box or cage	2.00	0.26

表中数值为平均数 ± 标准误，下表同。n_1，n_2，n_3 与 n_4 分别表示统计的带卵块叶片数、卵块数、观察孵化率的卵块数与卵粒数。同行中有不同大写字母表示差异极显著($P≤0.01$)，有相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P≤0.05$)，表3，4，5 同。Data in the table are mean ± *SE*, the same for the following tables. n_1, n_2, n_3 and n_4 in the table represent the counted leaf number with egg mass, the counted number of egg masses, and the number of egg masses and the hatching rate of eggs observed, respectively. The different capital letters in the same line mean significant difference($P≤0.01$), while the same small letters mean significant difference ($P>0.05$), and the different small letters mean significant difference ($P≤0.05$), respectively. The same for Table 3, 4 and 5.

2.4 不同饲养方法与接虫密度对空心莲子草叶甲产卵量的影响

按雌雄配比 1∶0.5 的比例，每 20 株空心莲子草上分别接雌虫 20，50，100 与 200 头，2 种饲养方法的雌虫每日产卵量均无显著差异；但在每 20 株空心莲子草上接雌虫 200 头的高密度下，雌虫的每日产卵量极显著低于其他几种饲养密度(表 2)，植株叶片被啃食殆净，甚至茎秆被啃食，成虫把卵在茎秆上、纱布上、盒壁上或卵块成堆，成虫出现部分死亡现象。笼养法成虫则大量飞到笼壁等处，产卵量明显降低。

表 2　不同饲养方法与接虫密度下空心莲子草叶甲的每日每雌产卵量(粒)

Table 2　Impacts of different rearing densities on the number of eggs laid per female *Agasicles hygrophila* per day

饲养法 Feeding method	接雌成虫量/20 株草 Female incubated in every 20 plants			
	20	50	100	200
盒养法 Feeding in box	28.52 ±0.29 A(a)	30.23 ±0.43 A(a)	30.29 ±0.66 A(a)	17.16 ±0.21 C(a)
笼养法 Feeding in cage	29.47 ±0.82 A(a)	30.99 ±0.19 A(a)	32.02 ±0.03 A(a)	17.65 ±0.74 C(a)

同行中不同大写字母表示差异极显著($P≤0.01$)；同列中括号中的小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$)。The different capital letters in the same line mean significant difference ($P≤0.01$), while the same small letters in brackets in the same column mean no significant difference ($P>0.05$), respectively.

2.5　不同孵化方法对空心莲子草叶甲初孵幼虫存活率的影响

叶片法(LM)与苗水培法(SWM)孵化后 1 龄幼虫能成功转移到新鲜叶片上的转株(叶)率均极显著低于植株法(PM)，转株(叶)后 1 龄幼虫的存活率在 3 种孵化条件下中均无显著差异。从孵化后到 1 龄末期的总存活率以苗水培法最低，且极显著低于植株法，叶片法的总存活率略高于苗水培法，显

著低于植株法(表3)。

初孵1龄幼虫在孵化后聚集在空卵块(壳)附近，取食叶肉，约3 h后扩散取食。能否成功转移到新鲜株(叶)上是影响其存活率的关键时期。

表3 不同孵化方法下空心莲子草叶甲初孵1龄幼虫的存活率

Table 3 Impacts of different egg hatch treatments on survival rate of the newly-hatched 1st instar larvae of *Agasicles hygrophila*

参数 Parameter	卵孵化处理方法 Treatments for egg hatching		
	LM	SWM	PM
初孵1龄幼虫数 Number of newly-hatched 1st instar larvae	163	169	170
转株(叶)率(%) Transfering rate to fresh plant or leaf	58.12 ±3.59 bB	56.76 ±2.33 bB	100 ±0.00 aA
转株(叶)后存活率(%) Survival rate after transfering to fresh plant or leaf	71.64 ±3.98 aA	64.32 ±1.33 aA	66.74 ±6.39 aA
至1龄末存活率(%) Total survival rate to late 1st instar	41.08 ±0.14 bA	36.62 ±2.23 bB	66.74 ±6.39 aA

2.6 不同饲养方法对空心莲子草叶甲2龄和3龄幼虫存活率的影响

总体分析，从2龄初期至3龄期末的总体存活率为盒养法极显著高于笼养法，3龄期内的存活率为盒养法显著高于笼养法，2龄期内与从2龄末期蜕皮进入3龄初期的幼虫存活率为盒养法略高于笼养法，但无显著差异(表4)。

在盒养法中，受到空间狭小的胁迫，幼虫无处可逃，及时换苗与保湿，各期存活率都较高。而在笼养法中，活动空间相对较大，幼虫容易从植株上掉落，爬不回植株上造成部分死亡，另外由于幼虫的啃食引起植株折断而导致幼虫落下死亡。

表4 不同饲养方法下空心莲子草叶甲2龄和3龄幼虫存活率

Table 4 Survival rates of the 2nd and 3rd instar larvae of *Agasicles hygrophila* rearing in box and in cage

参数 Parameter	盒养法 Feeding in box	笼养法 Feeding in cage
接2龄幼虫数 Number of 2nd instar larvae incubated	150	150
2龄期内存活率(%) Survival rate in 2nd instar	98.67 ±0.67 a	89.33 ±2.67 a
3龄初存活率(%) Survival rate in early 3rd instar	93.27 ±1.74 a	83.78 ±3.58 a
3龄期内存活率(%) Survival rate in 3rd instar	99.29 ±0.71 a	94.64 ±0.01 b
从2龄至3龄总的存活率(%) Total survival rate from 2nd instar to 3rd instar	91.33 ±0.67 A	70.67 ±1.33 B

2.7 不同接虫密度对化蛹与羽化的影响

随着接虫数量的增加，3龄老熟幼虫能成功蛀茎进入茎秆中化蛹与羽化的比例降低，羽化率与总存活率也降低。当每10株草接虫100头与120头时，幼虫能成功蛀茎的比例极显著低于接虫20，40与80头，各接虫密度下的蛀茎率、羽化率及总存活率详见表5。

接虫密度过高时，幼虫相互干扰蛀茎、逃逸，茎秆被啃食易折断腐烂，顶端部位易枯萎脱落，蛀茎后虫体易发霉，不能顺利羽化，或在靠近顶端节上蛀茎，因茎节枯萎腐烂脱落，蛹也难以顺利羽化反而降低化蛹与羽化率。

表 5　不同接虫密度下空心莲子草叶甲的蛀茎率、羽化率与存活率

Table 5　The percentage of entering stem, eclosion and survival rate of *Agasicles hygrophila* in different densities

接虫量/10 株 Number of *A. hygrophila* mature larvae incubated in every 10 plants	蛀茎率(%) Bored stems rate	羽化率(%) Eclosion rate	存活率(%) Survival rate
20	95.00 ± 2.24 aA	100.00 ± 0.00 aA	95.00 ± 2.24 aA
40	95.50 ± 1.66 aA	99.50 ± 0.50 aA	95.00 ± 1.37 aA
80	93.25 ± 2.22 aA	97.86 ± 0.66 bA	91.25 ± 2.24 bA
100	66.00 ± 4.20 DbB	90.49 ± 1.04 cB	59.60 ± 3.40 cB
120	45.16 ± 1.85 cC	86.87 ± 2.75 cB	39.17 ± 1.67 dC

3　讨论

利用野生空心莲子草钵头水培法饲养空心莲子草叶甲，每钵只能放 10 株草，每 1 ~ 2 d 就需更换新苗(吴珍泉等，1994a)，如大量繁殖，所需空间与工作量均较大。且水培法易造成寄主植物内叶绿素、粗蛋白、氨基态氮、维生素 C 等物质的流失(吴珍泉，1994)，加速植株腐烂，培养水发出臭味，经连代饲养易引起产卵量与雌性比下降，不适用于室内大量饲养与繁殖。本文所用盒养法可根据饲养盒的大小，分层投放鲜草与叶甲的数量。1 个长 40 cm、宽 30 cm、高 12 cm 的长方形硬质塑料饲养盒中，分 4 ~ 5 层加入长约 30 cm 的 80 ~ 100 枝新鲜空心莲子草，至少可供 1 000 头成虫(至少 500 头雌虫)取食产卵或饲养 2 000 ~ 4 000 头幼虫。用冷光源照明，每天喷水雾 1 次保湿，2 d 更换 1 次新苗即可。空心莲子草叶甲分为卵、幼虫、蛹与成虫 4 个时期，除化蛹需在栽培活苗上完成外，各龄幼虫与成虫均可用离体新鲜苗盒养法密集饲养。用栽培活苗笼养法化蛹，收集 3 龄老熟幼虫于干燥滤纸上，直接放于化蛹苗上，让其自动转移至植株上蛀茎化蛹。湿法栽培的活苗，只要不被取食殆尽，可始终保持鲜活状态，满足化蛹与羽化的需要，化蛹羽化率高，且新羽化的成虫刚钻出茎干就能迅速取食，补充营养，成虫成活率很高。

用植株法孵化卵粒，均优于叶片法与水培植株法，但其需要大量的栽培活苗，工作量大，所需空间也很大，本研究选用叶片法或水培植株法孵化卵粒。刚孵出的 1 龄幼虫活动能力较弱，聚集在孵出卵块的周围取食叶肉，约需 3 h 后才分散取食，因此幼虫孵出后 3 h 内是将 1 龄幼虫从孵化盒转移至幼虫饲养盒的最佳时期。室内饲养时注意卵孵化时间并及时添加新鲜嫩枝叶，帮助初孵幼虫转株(叶)，提高转株(叶)率与成活率。2 龄与 3 龄幼虫行动能力强，行为活泼，啃食叶片与茎杆，特别是 3 龄幼虫取食量大，常将叶片食光，适时添加新鲜枝条，让其主动转移后，2 d 清理 1 次植物残枝与污物即可。盒养法空间胁迫性强，叶甲无处可逃。适于饲养各龄幼虫与成虫及供成虫产卵，产卵期成虫饲养以每株 5 头雌虫(配适量雄虫)为宜，以保证有足够叶面积供卵附着。笼养法时幼虫与成虫均发生逃离植株现象，特别是密度高时逃逸明显。在老熟 3 龄幼虫化蛹前，及时将其转移至生长良好化蛹苗上，让其化蛹。在室内饲养化蛹时，1 节茎秆中可有多个虫体钻入化蛹，甚至虫蛹一个接一个呈串珠状排列。但茎秆中蛹的密度过高，会引起茎秆腐烂、发霉，容易折断而不能顺利完成羽化，同时，如果 3 龄老熟幼虫接的密度过高，幼虫蛀茎前发生的取食也会引起化蛹苗的质量下降，降低羽化率。因此应控制接虫密度，保证茎秆中高而适宜的化蛹量，并顺利完成羽化。在 30 ~ 40 cm 长、带 7 ~ 8 轮叶子的植株，接 8 头老熟幼虫为宜。刚羽化的新成虫，活动能力较弱，就近取食嫩叶与顶芽。经取食后成虫活动能力增强，善跳跃与飞行，嚼食能力强，密度较高时，空心莲子草叶片与顶芽被全部取食，茎秆也因被啃食而折断，笼养法能满足这种需求。

本研究摸索出用盒养法饲养各龄幼虫与成虫，并供成虫产卵，用叶片法或苗水培法孵化幼虫，用加土栽培活苗笼养法，适宜密度接虫化蛹，即能实现室内大量饲养与繁殖空心莲子草叶甲的流程，为开展田间释放叶甲、实施空心莲子草的区域减灾提供生物防治资源。该流程较好地解决了用离体植株水培饲养的植株易枯萎发黄、落叶、腐烂与因营养物质流失而造成的连代培养产卵量低与雌性比下降的问题，所需空间小，节约人力与资源，可操作性较好。

参 考 文 献 (References)

Cabrera N, Sosa AJ, Dorado J, Julien M, 2005. *Systena nitentula* (Coleoptera: Chrysomelidae), a flea beetle injurious to *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae): Redescription, biology, and distribution. *Annals of the Entomological Society of America*, 98(5): 643–652.

Li HK, Li M, Li D, 2000. Alligatorweeds *Alternanthera philoxeroides* and its biological control. *World Agriculture*, 2: 36. [李宏科, 李萌, 李丹, 2000. 空心莲子草及其生物防治. 世界农业, 2: 36]

Li J, Zhen FK, 2007. Capacity for food taking and starvation endurance of adults of *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt. *Sichuan Journal of Zoology*, 26(1): 116–117. [李君, 郑发科, 2007. 空心莲子草叶甲成虫取食量和耐饥饿能力的研究. 四川动物, 26(1): 116–117]

Ma RY, 2001. Ecological Adaptation of the Introduced Biocontrol Agent, *Agasicles hygrophila*, for Alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides*, in China. Ph. D. Dissertation, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing. 32–34. [马瑞燕, 2001. 空心莲子草天敌——莲草直胸跳甲引进中国后的生态适应性研究. 北京: 中国农业科学院博士学位论文. 32–34]

Michael HJ, Skarratt B, Maywald GF, 1995. Potential geographical distribution of alligator weed and its biological control by *Agasicles hygrophila*. *J. Aquat. Plant Manag.*, 33: 55–60.

Sainty G, McCorkelle G, Julien M, 1998. Control and spread of alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., in Australia: Lessons for other regions. *Wetlands Ecology and Management*, 5: 195–201.

Stewart CA, Chapman RB, Emberson RM, Syrett P, Farmpton CMA, 1999. The effect of temperature on the development and survival of *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt (Coleoptera: Chrysomelidae), a biological control agent for alligator weed (*Alternathera philoxeroides*). *New Zealand Journal of Zoology*, 26: 11–20.

Wang R, Wang Y, Zhang CG, 1988. Host specificity tests for *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae), a biological contro1 agent of alligatorweed. *Chinese Journal of Biological Control*, 4(1): 14–17. [王韧, 王远, 张成格, 1988. 空心莲子草叶甲的寄主专一性测验. 生物防治通报, 4(1): 14–17]

Wu LM, Tian SY, Wang XY, Mai YL, Chen RY, 2000. Biological observations of *Agasicles hygrophila* in Guangdong. *Chinese Journal of Biological Control*, 16(3): 144–145. [吴浪明, 田世尧, 王晓容, 麦燕玲, 陈荣溢, 2000. 广东莲草直胸跳甲生物学的观察. 中国生物防治, 16(3): 144–145]

Wu ZQ, 1994. Analysis of four physiological substances in treaded alligatorweeds *Alternanthera philoxeroides*. *Wuyi Science Journal*, 11: 47–51. [吴珍泉, 1994. 水培空心莲子草生理指标的分析. 武夷科学, 11: 47–51]

Wu ZQ, 1997. Effect of temperature on the growth and development of *Agasicles hgrophila*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 8(2): 181–184. [吴珍泉, 1997. 温度对空心莲子草叶甲生长发育的影响. 应用生态学报, 8(2): 181–184]

Wu ZQ, Cai YC, Guo ZX, Wang TB, 1994a. Rearing *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) on alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides*. *Journal of Fujian Agricultural University (Natural Sciences Edition)*, 23(4): 421–425. [吴珍泉, 蔡元呈, 郭振铣, 王天宝, 1994a. 利用野生空心莲子草繁殖空心莲子草叶甲. 福建农业大学学报(自然科学版), 23(4): 421–425]

Wu ZQ, Cai YC, Guo ZX, Wang TB, 1994b. Host specificity tests for *Agasicles hygrophilia* (Col.: Chrysomelidae), a biological contro1 agent of alligator weed. *Entomological Journal of East China*, 3(2): 98–100. [吴珍泉, 蔡元呈, 郭振铣, 王天宝, 1994b. 空心莲子草叶甲的寄主专一性检测. 华东昆虫学报, 3(2): 98–100]

Zhou GQ, Peng YL, Wang Y, Zhou GF, Wang WL, 2007. Studies on the occurrence, distribution and harm of *Alternanthera philoxeroides* in Dongtinghu area. *Weed Science*, 3: 16–18. [周国庆, 彭友林, 王云, 周国峰, 王文龙, 2007. 洞庭湖区空心莲子草的发生、分布与危害研究. 杂草科学, 3: 16–18]

(责任编辑: 袁德成)